Laser scanner a confronto: problematiche e potenzialità nella restituzione grafica 2D di un bene storico

Manuela Incerti
Cristian Boscaro
Stefano Costantini

Abstract

Il contributo presenta i primi risultati di alcune esperienze di rilievo laser scanner realizzate con strumentazioni differenti sul medesimo tema architettonico: il Museo di Casa Romei di Ferrara. Si tratta dei sistemi Faro Focus X 330, Faro Swift Mobile, GeoSLam Zeb Horizon, BLK2GO e BLK360 G2. La finalità principale del contributo è stata quella di effettuare alcune di riflessioni sulle problematiche legate alla restituzione grafica 2D del rilievo in relazione alle diverse acquisizioni prodotte. Sono state inoltre oggetto di valutazione: potenzialità ed efficacia delle strumentazioni in rapporto agli scopi, costo, tempistiche di acquisizione e di registrazione e, infine, grado di integrazione possibile tra i dati provenienti da attrezzature diverse. Per indagare sulle possibili condizioni di criticità, è stato scelto un soggetto particolarmente complesso in quanto a morfologia generale, dimensioni degli ambienti, dislivelli, irregolarità delle murature e dettagli architettonici.

Parole chiave
SLAM, Laser scanner terrestre, Sistema Inerziale Visivo, Rilevamento architettonico, Disegno

Comparazione tra i risultati dei cinque rilievi laser scanner realizzati. Elaborazione grafica di C. Boscaro.

doi.org/10.3280/oa-1016-c439

Introduzione

L'evoluzione tecnologica degli odierni sistemi di rilevamento rende sempre più necessario lo svolgersi di attività di ricerca che mirino a stabilirne le principali peculiarità e il più opportuno ambito d'impiego al fine di favorire la sempre più fedele lettura del manufatto architettonico e una sempre maggiore integrazione delle informazioni.
L'impiego consapevole di tali sistemi rappresenta sicuramente un importante scenario nel processo della conoscenza, della documentazione e della successiva fruizione temporale del patrimonio storico di cui oggi disponiamo, consentendo, oltre ad una rapida e fedele archiviazione grafica delle principali caratteristiche morfo-metriche delle strutture, una precisa e puntuale condivisione delle informazioni acquisite.
Aspetti questi che permettono di rispondere in maniera sempre più adeguata alle molteplici richieste avanzate dai vari operatori del settore e anche ad eventuali problematiche che possono insorgere durante il rilevamento, per una più facile comprensione della genesi costruttiva e un sempre più corretto passaggio dalla complessità della realtà alla sua esemplificazione geometrica.

Il caso studio

Casa Romei è un edificio risalente alla prima metà del Quattrocento, oggetto nel tempo di numerosi integrazioni, rimaneggiamenti e restauri [1]. Il complesso è organizzato intorno a due corti con giardino, presenta diversi loggiati in parte affrescati, delle baldresche, coperture a volte e soffitti lignei con orditure di misura differente, variamente composte e decorate. Le dimensioni dei suoi ambienti variano dai pochi metri della Cappellina ai 21 metri del Salone d'Onore. I numerosi dislivelli tra i solai, raccordati quando possibile da rampe mobili, caratterizzano tutta la struttura. Permangono ancora diverse aperture medioevali contraddistinte da archi a sesto acuto e dimensioni molto ridotte, che rendono difficoltoso il passaggio tra gli ambienti.
L'edificio, oggetto di rilievo già nel 2014 [Vernizzi et al. 2014], è stato oggetto di più campagne di rilevamento dal 2018 sino ad oggi.
Le prime acquisizioni tridimensionali sono state realizzate nella Corte d'Onore con il sistema TLS Faro Focus x 330 e fotogrammetria digitale da drone, con grado di dettaglio adeguato ad una scala di restituzione di 1:20 ai fini della realizzazione del progetto di *projection mapping Sogno o Son Deste*. La campagna, proseguita in tempi successivi secondo il *workflow* consolidato, ha visto l'utilizzo di *target* sferici per la registrazione dei dati acquisiti (software Scene 2022, 85 scansioni quasi tutte dotate di dato colore (fig. 1).
Il primo rilievo con scanner dinamico SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*, ossia Mappatura e Localizzazione Simultanee) è stato realizzato nel 2021 con il GeoSLam Zeb Horizon [2], grazie a due acquisizioni successive: piano terra e primo piano. Il sistema, grazie ad una imbracatura, viene caricato sulle spalle dell'operatore che si muove lentamente nello spazio per avere adeguate zone di sovrapposizione. La fase di registrazione e visualizzazione dei dati acquisiti ha richiesto tempi ridotti ed è stata realizzata sul posto con il software proprietario. L'ottimizzazione della registrazione, a noi fornita sprovvista di dato colore, è avvenuta in tempi successivi. La nuvola generata conta 39,6 milioni di punti (densità impostata 1,5 mm), e presenta un rumore importante tale rendere critica restituzione del rilievo in scala superiore a 1:100, visto che si tratta di un edificio storico ricco di dettagli architettonici (fig. 2).
Il secondo rilievo con tecnologia mista è stato realizzato nel 2022 con il Faro Swift Mobile (fig. 1, al centro). Il sistema è composto da un tripode con ruote su cui sono montati il FARO X Plus, lo ScanPlan 2D e un *device* che gestisce la scansione [Bonfanti et al. 2021]. La tecnica di rilievo prevede che a delle scansioni in movimento siano associate delle scansioni statiche. Le problematiche riscontrate in fase di registrazione riguardano il controllo della verticalità, visto che le scansioni Swift acquisite in modalità '*Stop&Go*' (cioè le *Anchor Scans*) non vedono l'impiego dell'inclinometro. Tale problematicità viene risolta, durante l'acquisizione, grazie ad alcune scansioni statiche con inclinometro attivo. Dal punto di vista operativo il sistema vede

Fig. 1. Alcuni degli scanner utilizzati nella sperimentazione: Faro Focus X 330 (a sinistra), Faro Swift Mobile (al centro), BLK2GO e BLK360 G2 (a destra). Fotografie di M. Incerti.

il suo impiego ottimale su grandi aree, incontra invece difficoltà nei piccoli spazi e in presenza di salti di quota. Ripulito da macro-errori dovuti alla modalità '*Stop&Go*', il risultato presenta un limitato livello di rumore e può tranquillamente essere registrato insieme a scansioni provenienti dal sistema statico. La struttura delle cartelle di questo sistema è tuttavia diversa perché implica due diversi tipi di scansioni vincolate tra loro.
Sono state prodotte cinque diverse riprese '*Stop&Go*': due per gli esterni (composte rispettivamente da 13 e 22 scans), due per i cortili (40 e 23 *scans*) e una per gli interni (14 *scans*). La sovrapposizione tra il dato proveniente dal Faro Focus X 330 e quello del sistema Swift è comunque di alta qualità (figg. 3, 4). Dalla registrazione simultanea dei due sistemi congiunti (alcune *scans* sono state eseguite due volte, sui medesimi spazi) è stata prodotta una nuvola di 1.313 milioni di punti (densità 1,5 mm).
La terza campagna di sperimentazione è stata eseguita con il Leica BLK360 G2 e il BLK2GO (fig. 1, a destra), ovvero con sistemi che si avvalgono anche della tecnologia VIS (Visual Inertial System) e sono caratterizzati da elevata maneggevolezza ed efficienza in relazione alle dimensioni, al peso e alla facilità d'uso. Sono stati testati solo in pochi ambienti e, come vedremo per quanto riguarda il sistema G2, è possibile utilizzare i dati ai fini di una rappresentazione in scala 1:50 (fig. 5).

Alcune valutazioni sui sistemi di acquisizione utilizzati e le possibilità di restituzione

Le sperimentazioni strumentali descritte, grazie alla sempre proficua collaborazione con le case produttrici dei più innovativi sistemi di scansione tridimensionale e con i sempre presenti rivenditori territoriali, hanno permesso, oltre a una loro ampia e puntuale comparazione e

Fig. 2. Rilievo con GeoSLam Zeb Horizon: in alto la nuvola di punti dell'intero edificio (39.633.497 punti), in basso alcune slice dalle quali è possibile dedurre le notevoli difficoltà nella fase di restituzione. Al centro una vista ortografica dei soffitti lignei in cui gli elementi sottili sono di difficile interpretazione. Elaborazione grafica e fotografie di M. Incerti.

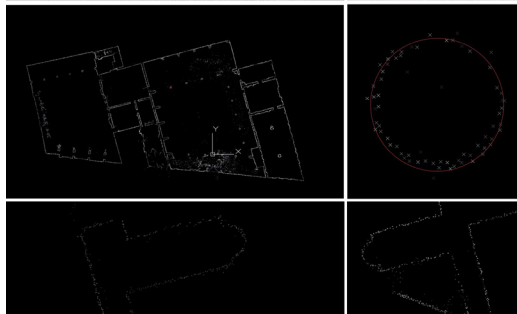



Fig. 3. Rilievo realizzato con Faro Focus X 300 e Faro Swift Mobile. In alto la registrazione complessiva delle scansioni (statico + dinamico), al centro i soli fronti urbani (registrazione di 3 riprese nella modalità 'Stop&Go'), in basso le due corti separate (1 ripresa 'Stop&Go' per ciascuna corte). Elaborazione grafica di M. Incerti.

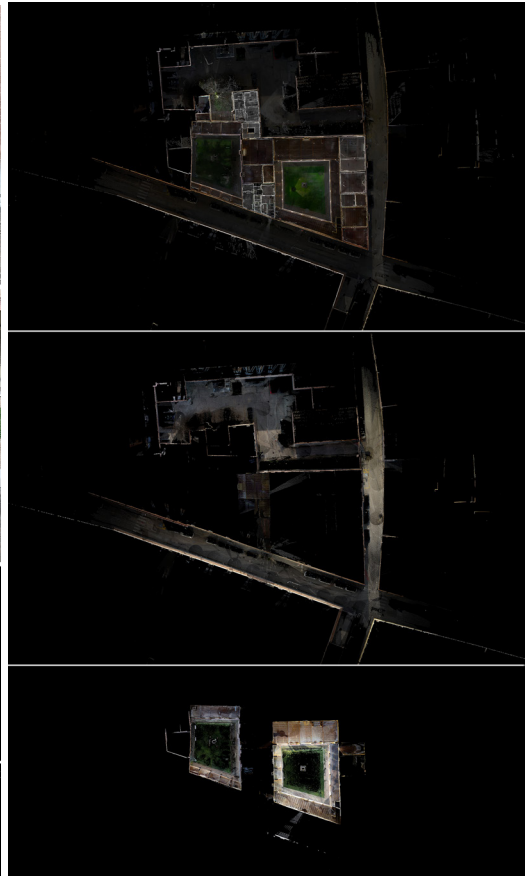



Fig. 4. Rilievo realizzato con Faro Swift Pro (in alto) e Faro Focus X 300 (al centro). Si noti la differenza di distribuzione dei punti più regolare (linee verticali) nel primo caso. In basso l'estrapolazione di una slice da cui si evince la perfetta sovrapposizione tra i due dati. Elaborazione grafica di M. Incerti.

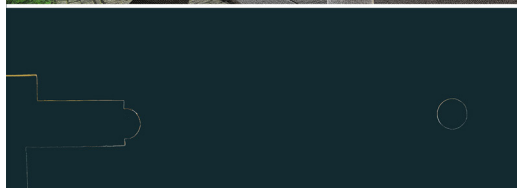



Fig. 5. Rilievo realizzato con BLK360 G2 (in alto) e BLK2GO (al centro). Si noti la sensibile differenza di distribuzione dei punti. In basso l'estrapolazione di una slice da cui si evince il grado di sovrapposizione tra i due dati. Elaborazione grafica di C. Boscaro.

valutazione, di mettere in luce alcuni dei molteplici punti di vantaggio offerti e di apprezzare alcune loro criticità rese manifeste nelle figure 2, 6 e 7 e sinteticamente riportate in forma tabellare (tab. 1) [3].
Nonostante emerga come gli sviluppi raggiunti in ambito di facilità di impiego, di velocità di acquisizioni e di precisione metrica siano importanti, i test condotti su particolari architetture storiche d'interesse hanno evidenziato come i sistemi dinamici basati sia su tecnologia SLAM e/o VIS, coerentemente alle loro caratteristiche, ancora non rispondano appieno alla precisione metrica e all'*accuracy* necessaria alla documentazione che la complessità dell'architettura storica richiede per una scala di dettaglio superiore o uguale a 1:50.

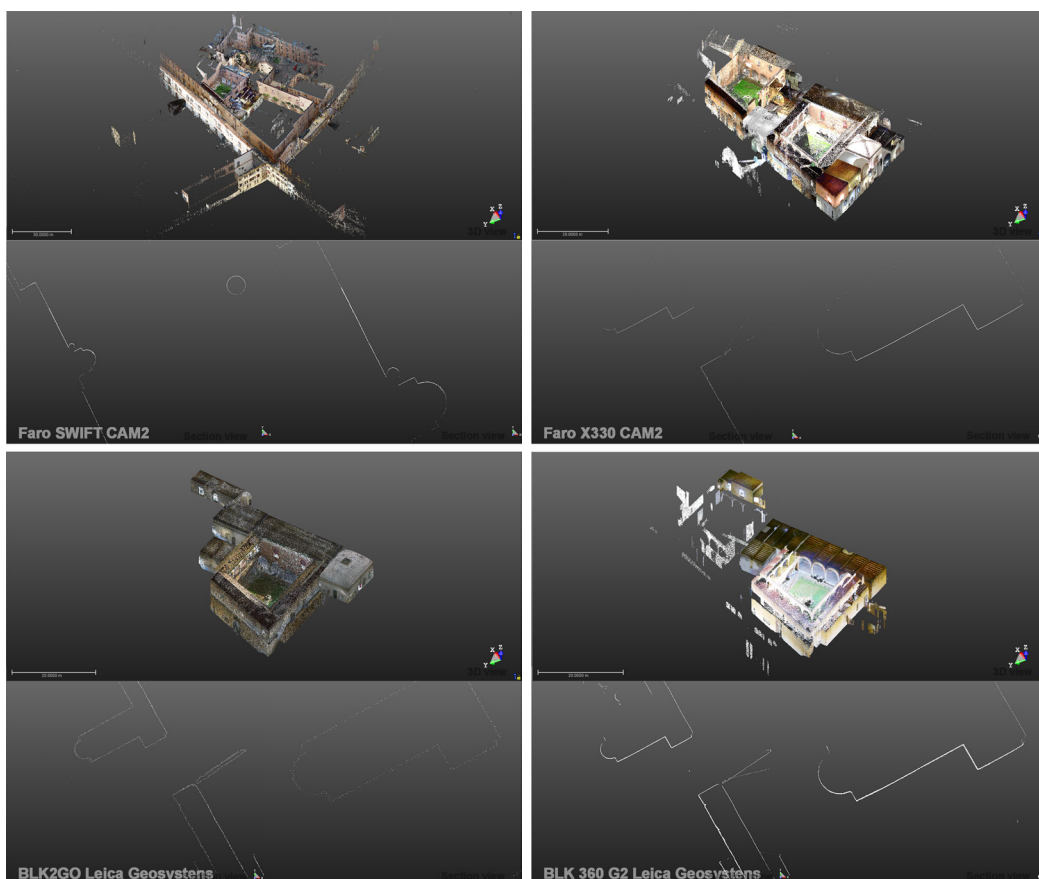



Fig. 6. L'area rilevata con i due strumenti Faro Swift (502.825.126 punti) e BLKGO (32.344.766 punti) con un confronto delle *slice*. Elaborazione grafica di C. Boscaro.

Fig. 7. L'area rilevata con i due strumenti Faro X 330 (720.095.039 punti) e BLK 360 G2 (3.2344.766 punti) con un confronto delle slice. Elaborazione grafica di C. Boscaro.

Sistema di acquisizione	Distribuzione italiana	Tecnologia Impiegata (a)	Operatività (b)	Precisione e Accuracy (c)	Range Operativo	Sensori integrati	Post Processing	Rapporto economico	Livello massimo di	Numero scansioni
FARO FOCUS X 330	CAM2®	TLS	1	1	0.9	RGB	0.8	0.8		85
GeoSLam Zeb Horizon	MicroGeo	SLAM	0.8	0.6	0.8	RGB	0.7	0.3	1:100 LOD C	2
Faro Swift Mobile	MicroGeo		0.3	0.9	0.7	RGB	0.6	0.3	1:50 LOD D	5 (118 scan)
BLK2GO	Leica Geosy-stems	VIS + SLAM	0.8	0.7	0.5	RGB (HDR)	0.8	0.7	1:100 LOD C	19
BLK360 G2	Leica Geosy-stems	VIS + TLS	1	0.8	0.6	RGB (HDR)	1	0.9	1:50 LOD D	4

Tab 1. Il range di valutazione è espresso tra 0 e 1 in relazione ai criteri elencati nella prima riga. Questa fase è stata realizzata utilizzando il software Trimble RealWorks ver. 10.2.

Non possiamo non evidenziare come questi sistemi siano certamente d'aiuto, se non necessari in certi ambiti che riguardino il rilevamento massivo di vaste aree o ancora zone difficilmente accessibili [Parrinello et al. 2022; Sammartano et al. 2019] ma, probabilmente per le ragioni evidenziate, essi non risultano in grado di fornire la sufficiente pulizia metrica che la successiva digitalizzazione 2D/3D necessita.
Altresì i sistemi di acquisizione tradizionali TLS evoluti (Laser Scanner terrestre) hanno evidenziato come, nello specifico ambito di ricerca, risultino rispondere meglio alle necessità che la lettura e la successiva digitalizzazione del dettaglio architettonico esigono.
Tra le evoluzioni tecnologiche presentate dai TLS, risulta essere interessante la sempre maggiore facilità di impiego dovuta in parte alla progressiva riduzione delle dimensioni e del relativo peso, cui non conseguono apprezzabili e visibili limitazioni delle performance e della precisione metrica. Inoltre, l'integrazione della tecnologia VIS, come ausilio all'allineamento continuo in fase di acquisizione, ha evidenziato dei notevoli miglioramenti lungo l'intero *workflow.*
La continua evoluzione metodologica impone una sempre più sostanziale inversione della sequenza logico/operativa tradizionale in quanto, se da un lato essi favoriscano una rapida ma indistinta acquisizione del tutto, dall'altro necessitano da parte del professionista di una successiva attenta e ragionata selezione di alcuni suoi insiemi significativi.
In considerazione di quanto brevemente esposto, risulta evidente come il rilievo del patrimonio storico implichi le competenze da parte dell'operatore relative ad una corretta segmentazione e classificazione semantica, le nozioni che sono alla base dei metodi di rilevamento, la conoscenza del vocabolario architettonico e di tutte le componenti strutturali e decorative che lo compongono.

Prime riflessioni sulla fase di registrazione e restituzione

Per il rilievo e la restituzione di elaborati bidimensionali e tridimensionali del caso-studio, come descritto sopra, è stata impiegata una grande varietà di strumenti. Per questo, prima della fase di allineamento e registrazione della nuvola, tutte le scansioni sono state diligentemente catalogate all'interno di un *database*, ordinate per data acquisizione, operatore, strumento, collocazione, tipologia di tecnologia, nome scansione e presenza/assenza del dato cromatico. Poi, all'interno del software Scene 2022 sono state importate tutte le scansioni, mantenendo, quindi, sia le tecnologie scanner di tipo statico sia quelle di tipo dinamico. L'ausilio di *target* sferici, debitamente posizionati, ha velocizzato il processo di registrazione, con un primo allineamento automatico ed un secondo manuale nel corso del quale sono emerse alcune problematiche derivanti dall'impiego delle tecnologie dinamiche. Nello specifico, gli scanner mobili impiegati sono tutti muniti di software proprietario per l'allineamento in fase di campagna [4], oppure sistemi inerziali e GPS per l'aggancio delle scansioni effettuate [5]. La registrazione, in assenza di questi software, insieme alla presenza del cono d'ombra che le prese Swift stesse creano (a causa dell'interferenza del sistema di aggancio della testa dello scanner con il proprio supporto), ha reso più intricata l'individuazione di *target* comuni tra scansioni di diversa tipologia (fig. 8).
La nuvola è stata esportata in formato .rcp (Autodesk RecapPro) e utilizzata, secondo le prassi ampiamente consolidate, per la restituzione degli elaborati all'interno di un software di grafica vettoriale (Autodesk AutoCAD). Il dato in questo ambiente viene importato come allegato, riducendo significativamente il peso e velocizzando così il processo, divenendo inoltre strumento di consultazione in tempo reale e consentire il disegno di piante e sezioni sul piano scelto (UCS) senza perdere il dato tridimensionale. Questa tecnica si presenta particolarmente efficace per edifici storici segnati da una evoluzione del corpo di fabbrica per campagne successive non consequenziali, tale da comportare disassamenti, sensibili rotazioni di piani verticali e orizzontali, e forti dislivelli tra un blocco e l'altro.
La *point-cloud* generata può essere celermente aggiornata con acquisizioni effettuate in un secondo momento, come per il rilevamento delle coperture successivamente realizzato con prese fotografiche aeree da drone. La nuvola generata all'interno del software Agisoft Me-

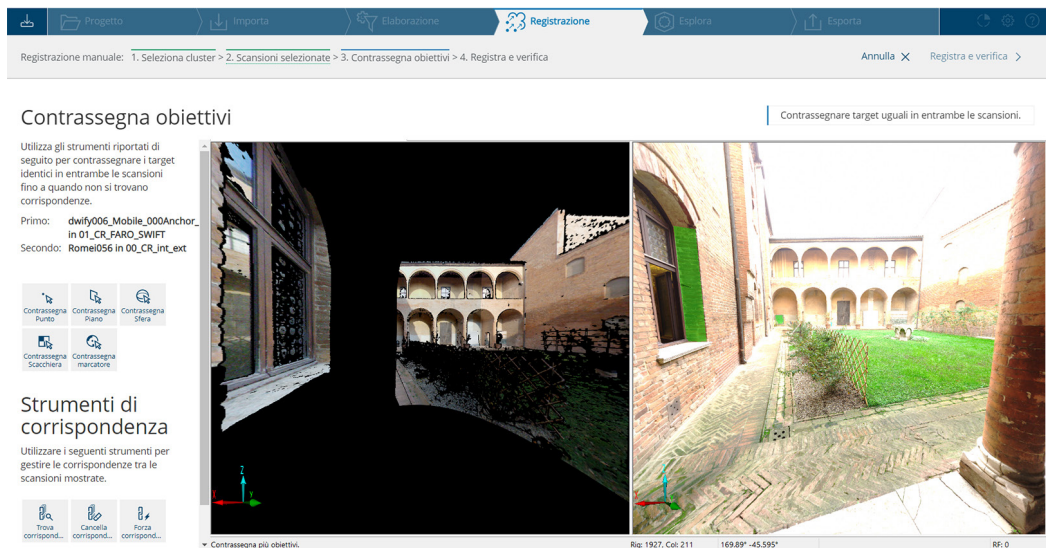



Fig. 8. Individuazione di *target* planari comuni per l'allineamento manuale in Scene, resa complessa dalla mancanza di dato nelle prese Swift a causa delle zone di auto-occlusione dello strumento. Elaborazione grafica di S. Costantini.

tashape, georeferenziata rispetto la nuvola da laser scanner ed importata direttamente all'interno del progetto Recap, ha consentito la chiusura del rilievo.
In ambiente vettoriale, sulla nuvola sono stati impostati una serie di piani orizzontali e verticali finalizzati alle necessarie restituzioni, ed è stata scelta la scala di rappresentazione architettonica 1:50, con la possibilità di scendere nel dettaglio data la ricchezza del dato rilevato (figg. 9, 10). La nuvola allegata può subire una serie di operazioni non distruttive del file sorgente oltre alla semplice consultazione. Per esempio la creazione di *slice* di profondità per agevolarne la lettura e l'interpretazione, e la possibilità di spegnere ad accendere le singole scansioni

Fig. 9. Loggiato di Ippolito II. Un dettaglio della restituzione del rilievo della pianta al Piano Terra, con scala di rappresentazione 1:50. Elaborazione grafica di S. Costantini.

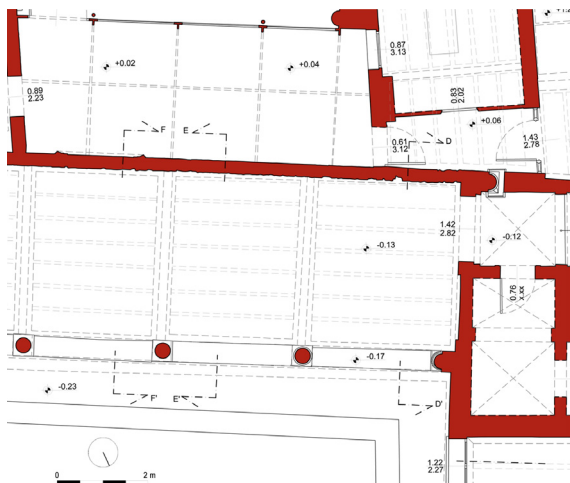
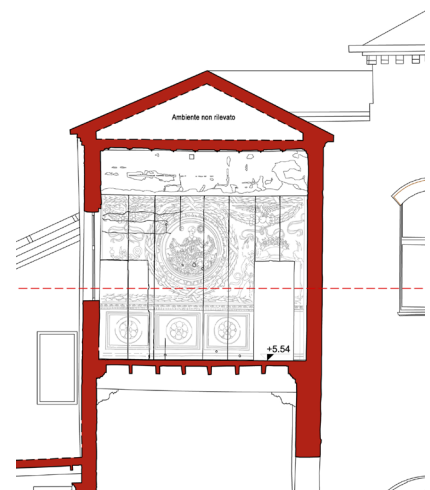



Fig. 10. Sezione passante per lo Studiolo al Primo Piano: particolare della restituzione del rilievo con scala di rappresentazione 1:20 per la descrizione dei dipinti, parete lignea con la raffigurazione allegorica dell'Africa. Elaborazione grafica di S. Costantini.

direttamente in CAD, senza eliminarle. Quest'ultima possibilità risulta di grande utilità vista la differenza di accuratezza del dato metrico e la quantità e posizione dei punti rilevati con i diversi strumenti. Lo scanner GeoSLAM ha consentito infatti una restituzione geometrica di massima degli ambienti, con qualche difficoltà nella chiusura degli angoli. Per scendere ad una scala di rappresentazione di maggiore dettaglio si è reso necessario accedere alle scansioni derivanti dallo scanner statico Faro Focus. Le scansioni originate dal Faro Swift sono state interrogate assieme a quelle statiche per ovviare alle reciproche mancanze dovute alle fasi di ripresa e ai limiti dello strumento già citati.
Una volta aggiornata la nuvola con l'acquisizione delle coperture, dato il peso di questa porzione, si è reso necessario spegnere il resto delle scansioni per la restituzione. Questa fase potrebbe essere ottimizzata se, durante le fasi di passaggio da Scene ad Autocad, si mantenesse la struttura dei vari gruppi scansione importati per tipologia di strumento (fig. 11).

Ringraziamenti

Si ringraziano le aziende di distribuzione per aver contribuito alla realizzazione di questa sperimentazione: per Microgeo Christian Ferrari, Sergio di Tondo e Cristina Bonfanti (sistema SLAM e Faro Swift Mobile); per Leica Andrea Cordisco e Valerio Brumelli (sistema Leica BLK360 G2 e BLK2GO con tecnici specializzati).

Crediti

Il testo è stato realizzato in collaborazione tra gli autori; in particolare i paragrafi 'Il caso studio' e 'Conclusioni' sono di Manuela Incerti, 'Introduzione' e 'Alcune valutazioni sui sistemi di acquisizione utilizzati' di Cristian Boscaro, 'Prime riflessioni sulla fase di registrazione e restituzione' di Stefano Costantini

Riferimenti bibliografici

Barba S., Ferreyra C., Cotella V. A., Di Filippo A. Amalfitano S. (2021). A SLAM Integrated Approach for Digital Heritage Documentation. In M. Rauterberg (a cura di). *Culture and Computing. Interactive Cultural Heritage and Arts*, 9th International Conference, C&C 2021, Held as Part of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, 24-29 luglio, 2021, Proceedings, Part I, pp. 27-39. Cham: Springer International Publishing.

Bonfanti C., Patrucco G., Perri S., Sammartano G. Spanò A. (2021). A new indoor lidar-based mms challenging complex architectural environments. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* XLVI-M-1–2021, pp. 79-86.

Colombo L. (2011). Tecnologia e tecnica nel laser scanning terrestre. In *Archeomatica*. n. 3, pp. 6-11.

Dell'Amico A. (2021). Mobile Laser Scanner Mapping System's for the Efficiency of the Survey and Representation Processes. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1-2021, pp. 199-205.

Di Filippo A., Sánchez-Aparicio L.J., Barba S., Martín-Jiménez J.A., Mora R., González Aguilera D. (2018). Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site. In *Remote Sensing*, vol. 10, n. 12, pp. 1-19.

Di Francesco C. (1988). Casa Romei. Medioevo e Rinascimento nel '400 ferrarese. In *Ferrara dal domestico al sacro: le dimore*, Ferrara, 7 aprile - 19 maggio 1988, pp. 1-9. Ferrara: Comune di Ferrara.

Keitaanniemi A., Virtanen J. P., Ronnholm P., Kukko A., Rantanen T., Vaaja M. T. (2021). The Combined Use of SLAM Laser Scanning and TLS for the 3D Indoor Mapping. In *Buildings,* vol. 11, n. 9, 386, pp. 1-18.

Muscolino C. (1989). *Casa Romei. Una dimora rinascimentale a Ferrara*. Imola: University Press Bologna.

Parrinello S., La Placa S. (2022). La documentazione dei canali nella piana pavese. Esperienze di rilevamento con tecnologia SLAM per lo sviluppo di modelli informativi. In *Dienne Building Information Modeling, Data & Semantics*, vol. 9, pp. 33-45.

Sambin de Norcen M. T. (2017). Romei, Giovanni. In R. Romanelli (a cura di). *Dizionario Biografico degli Italiani,* LXXXVIII. Istituto della Enciclopedia Italiana.

Sammartano G. Spanò N. (2018). Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition. In *Applied Geomatics,* n. 10, pp. 317-339.

Sammartano G., Spanò N., Accornero A. (2019). Scansioni laser basate su tecnologia SLAM per documentazione estensiva del convento di San Nicola a Tolentino. In *Atti e rassegna tecnica della società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino*, anno 152, vol. LXXIII, n. 3, pp. 217-221.

Tucci G., Visentini D., Bonora V., Parisini E. (2018). Examination of Indoor Mobile Mapping Systems in a Diversified Internal/External Test Field. In *Applied Sciences*, vol. 8, n. 3, pp. 401-430.

Vernizzi C., Zerbi A. (2014). Rilievi 3D e valutazione dei dissesti strutturali: Casa Romei a Ferrara. In P. Giandebiaggi, C. Vernizzi (a cura di). *Italian Survey & International Experience, Atti del 36° Convegno internazionale dei Docenti della Rappresentazione,* pp. 513-521. Roma: Gangemi.

Zaccarini D. (1992). *Casa Romei e la vita privata ferrarese nel secolo XV.* Ferrara: Studio Editoriale Ferrarese.

Autori
Manuela Incerti, Università degli Studi di Ferrara, icm@unife.it
Cristian Boscaro, Università degli Studi di Ferrara, bsccst@unife.it
Stefano Costantini, Università degli Studi di Ferrara, cstsfn2@unife.it

Per citare questo capitolo: Incerti Manuela, Boscaro Cristian, Costantini Stefano (2023). Laser scanner a confronto: problematiche e potenzialità nella restituzione grafica 2D di un bene storico/ Comparison between Laser Scanners: Problems and Potential in the 2D Drawings of a Historical Building. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2817-2834.

 Isbn 9788835155119

Comparison between Laser Scanners: Problems and Potential in the 2D Drawings of a Historical Building

Manuela Incerti
Cristian Boscaro
Stefano Costantini

Abstract

The paper presents the first results of some laser scanner survey experiences carried out with different instruments on the same architectural theme: the Casa Romei Museum in Ferrara. These are the Faro Focus X 330, Faro Swift Mobile, GeoSlam Zeb Horizon, BLK2GO and BLK360 G2 systems. The main purpose of the contribution is to carry out some considerations on the problems related to the 2D drawing of the survey in relation to the various acquisitions produced. The following themes were also evaluated: potential and effectiveness of the instruments in relation to the purposes, cost, duration of acquisition and recording and, lastly, the degree of possible integration between the data coming from different acquisition systems. To investigate possible critical conditions, a particularly complex subject was chosen in terms of general morphology, rooms dimensions, unevenness, masonry irregularities and architectural details.

Keywords
SLAM, Terrestrial laser scanner, Visual Inertial System, Architectural survey, Drawing

Comparison between the results of the five laser scanner surveys carried out. Graphic elaboration by C. Boscaro.

doi.org/10.3280/oa-1016-c439

Introduction

The technological evolution of today's detection systems makes it increasingly necessary to carry out research activities aimed at establishing their main peculiarities and the most appropriate field of use in order to favor an ever more faithful reading of the architectural artefact and an ever-greater information integration.
The conscious use of these systems certainly represents an important scenario in the process of knowledge, documentation, and subsequent temporal fruition of the historical heritage that we have today, allowing, in addition to a rapid and faithful graphic archiving of the main morpho-metric characteristics of the structures, a precise and timely sharing of the information acquired.
These aspects make it possible to respond more and more adequately to the many requests made by the various operators in the sector and also to any problems that may arise during the survey, for an easier understanding of the constructive genesis and an increasingly correct passage from the complexity of reality to its geometric exemplification.

The case study

Casa Romei is a building dating back to the first half of the fifteenth century, the subject of numerous additions, alterations and restorations over time [1]. The complex is organized around two courtyards with gardens, has several partly frescoed loggias, baldresque vaults and wooden ceilings with warping of different sizes, variously composed and decorated. The dimensions of its rooms vary from the few meters of the Chapel to the 21 meters of the Hall of Honour. The numerous differences in level between the floors, connected, when possible, by mobile ramps, characterize the whole structure. There are still several medieval openings characterized by pointed arches and very small dimensions, which make it difficult to pass between the rooms.
The building, object of survey already in 2014 [Vernizzi et al. 2014], has been the subject of several survey phases from 2018 until today.
The first acquisitions by the research team were made in the Court of Honor with the TLS Faro Focus x 330 system and digital photogrammetry from a drone, with a level of detail suitable for a 1:20 restitution scale for carrying out the projection mapping project *Sogno o Son Deste*. The operations, continued later according to the consolidated workflow, with the use of spherical targets to align the acquired data (Scene 2022 software, 85 scans almost all equipped with colors) (fig. 1).
The first survey with a dynamic SLAM scanner (Simultaneous Localization and Mapping) was carried out in 2021 with the GeoSLam Zeb Horizon [2], thanks to two successive acquisitions: ground floor and first floor. The system, thanks to a harness, is loaded on the shoulders of the operator who moves slowly in the space to have adequate overlapping areas. The phase of alignment and displaying the acquired data required a short time and has been carried out on site with proprietary software. The optimization of the registration, supplied to us without a given color, took place later. The generated cloud has 39.6 million points (set density 1.5 mm), and presents such an important noise that making the survey drawing on a scale greater than 1:100 would have been critical, given that it is a historic building full of architectural details (fig. 2).
The second mixed technology survey was carried out in 2022 with the Faro Swift Mobile (fig. 1, centre). The system consists of a tripod with wheels on which the FARO X Plus, the ScanPlan 2D and a device that manages the scan are mounted [Bonfanti et al. 2021]. The survey technique requires that moving scans are associated with static scans. The problems encountered during the alignment phase concern the verticality control, given that the Swift scans acquired in 'Stop&Go' mode (i.e., the Anchor Scans) do not see the use of the inclinometer. This problem is solved, during the acquisition, thanks to some static scans with an active inclinometer. From an operational point of view, the system sees its optimal use on large areas, however it encounters difficulties in small spaces and in the presence of altitude

Fig. 1. Some of the scanners used in the trial: Faro Focus X 330 (in the left), Faro Swift Mobile (in the middle), BLK2GO e BLK360 G2 (in the right). Photographs by Manuela Incerti.

differences. Cleaned from macro-errors due to the 'Stop&Go' mode, the result has a limited noise level and can easily be recorded together with scans coming from the static system. However, the folder structure of this system is different because it involves two different types of scans linked to each other.
Five different 'Stop&Go' shootings were produced: two for the exteriors (composed of 13 and 22 scans respectively), two for the courtyards (40 and 23 scans) and one for the interiors (14 scans). The overlap between the data coming from the Faro Focus X 330 and that of the Swift system is in any case of high quality (figs. 3, 4). From the registration of the two combined systems (some scans were performed twice, on the same spaces) a cloud of 1,313 million points (density 1.5 mm) was produced.
The third survey session was performed with the Leica BLK360 G2 and the BLK2GO (fig. 1, right), i.e., with systems that also make use of VIS (Visual Inertial System) technology and are characterized by high manageability and efficiency in relation to their size, weight and ease of use. They have only been tested in a few environments and, as we will see with regard to the G2 system, it is possible to use the data for the purposes of a 1:50 scale representation (fig. 5).

Some assessments on the acquisition systems used and the possibilities of return

The instrumental experiments described, due to the always fruitful collaboration with the manufacturers of the most innovative three-dimensional scanning systems and with the always present territorial resellers, have allowed, in addition to their extensive and punctual comparison and evaluation, to highlight some of the many pros offered and to appreciate some of their critical points made evident in figures 2, 6 and 7 and summarized in table form (tab. 1) [3].

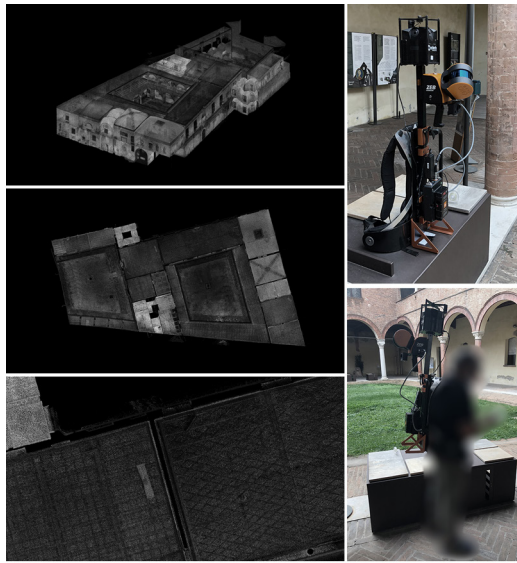



Fig. 2. Survey with GeoSLam Zeb Horizon: at the top the point cloud of the entire building (39,633,497 points), below some slices from which it is possible to deduce the considerable difficulties in the return phase. At the center an orthographic view of the wooden ceilings where the subtle elements are difficult to understand. Graphic elaboration and photographs by M. Incerti.

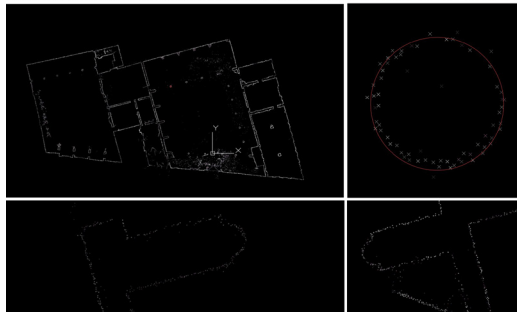



Fig. 3. Survey realised by Faro Focus X 300 and Faro Swift Mobile. At the top the scan's overall registration (static + dinamic), in the middle the urban facades (registration of three scans in the 'Stop&Go' mode), down the two cloisters (scan's registration in the 'Stop&Go' mode for each one). Graphic elaboration by M. Incerti..

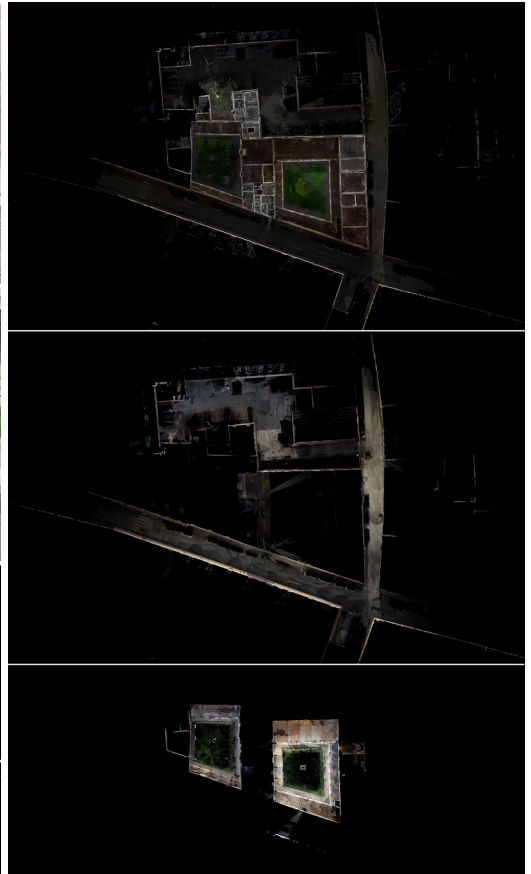



Fig. 4. Survey realised by Faro Swift Pro (at the top) and Faro Focus X 300 (in the middle). Note the more regular point distribution (the vertical lines) in the former case. At the bottom a slice's extrapolation suggesting the perfect overlap between two data. Graphic elaboration by M. Incerti.

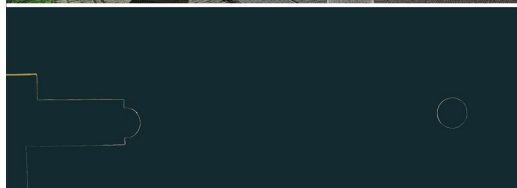
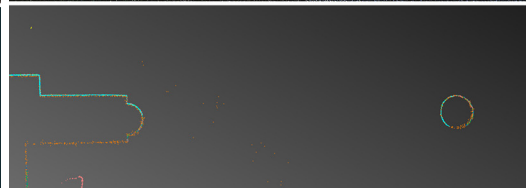



Fig. 5. Survey realised by BLK360 G2 (at the top) and BLK2GO (in the middle). Note the significant point distribution's difference. At the bottom a slice's extrapolation suggesting the perfect overlap between two data. Graphic elaboration by C. Boscaro.

Although it emerges that the developments achieved both in terms of ease of use, acquisition speed and metric precision are important, the tests conducted on particular historical architectures have shown that dynamic systems based on both SLAM and/or VIS technology, consistently with their characteristics, still do not fully respond to the metric precision and accuracy necessary for the documentation that the complexity of historical architecture requires.
We cannot fail to highlight how these systems are certainly helpful, if not necessary, in certain areas concerning the massive survey of vast areas or areas that are difficult to access [Parrinello et al. 2022; Sammartano et al. 2019] but, probably for the reasons highlighted, they are not able to provide the sufficient metric cleanliness that the subsequent 2D/3D digitization requires.

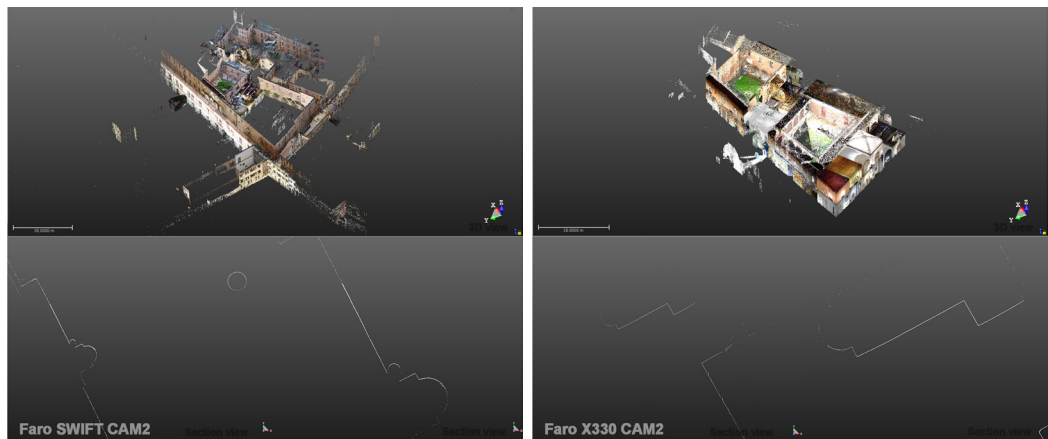



Fig. 6. The area surveyed with the scanners Faro Swift (502.825.126 points) and BLK 360 G2 BLKGO (32.344.766 points) joined to the comparison of slices. Graphic elaboration by C. Boscaro.

Fig. 7. The area surveyed with the scanners Faro X 330 (720,095,039 points) and BLK 360 G2 (3.2344.766 points) joined to the comparison of slices. Graphic elaboration by C. Boscaro.

Sistema di acquisizione	Distribuzione italiana	Tecnologia Impiegata (a)	Operatività (b)	Precisione e Accuracy (c)	Range Operativo	Sensori integrati	Post Processing	Rapporto economico	Livello massimo di	Numero scansioni
FARO FOCUS X 330	CAM2®	TLS	1	1	0.9	RGB	0.8	0.8		85
GeoSLam Zeb Horizon	MicroGeo	SLAM	0.8	0.6	0.8	RGB	0.7	0.3	1:100 LOD C	2
Faro Swift Mobile	MicroGeo		0.3	0.9	0.7	RGB	0.6	0.3	1:50 LOD D	5 (118 scan)
BLK2GO	Leica Geosy-stems	VIS + SLAM	0.8	0.7	0.5	RGB (HDR)	0.8	0.7	1:100 LOD C	19
BLK360 G2	Leica Geosy-stems	VIS + TLS	1	0.8	0.6	RGB (HDR)	1	0.9	1:50 LOD D	4

Tab 1. The valutation range between 0 to 1, releted by criteria wrote in the first line. This step was realised by the software Trimble RealWorks ver. 10.2.

Likewise, the advanced traditional TLS acquisition systems (terrestrial laser scanners) have shown how, in the specific research area, they respond better to the needs that reading and subsequent digitization of the architectural detail require.
Among the technological evolutions presented by the TLS, the ever-greater ease of use is interesting, due in part to the progressive reduction in size and relative weight, which does not result in appreciable and visible limitations in performance and metric precision. Furthermore, the integration of VIS technology, as an aid to the continuous alignment in the acquisition phase, has shown significant improvements along the entire workflow.
The continuous methodological evolution imposes an increasingly substantial inversion of the traditional logical/operational sequence since, if on the one hand they favor a rapid but indistinct acquisition of the whole, on the other hand they require the professional to make a subsequent careful and reasoned selection of some significant sets.
In consideration of what has been briefly stated, it is evident that the survey of the historical heritage implies the skills on the part of the operator relating to a correct segmentation and semantic classification, the notions which are the basis of the survey methods, the specific architectural vocabulary and all the structural and decorative components that compose it.

First reflections on the recording and drawing phase

A great variety of tools were used for the survey and rendering of two-dimensional and three-dimensional drawings of the case study, as described above. For this reason, before the cloud alignment and registration phase, all the scans were diligently classified in a database, sorted by acquisition date, operator, instrument, location, type of technology, scan name and presence/absence of chromatic data. Then, all the scans were imported into the Scene 2022 software, thus maintaining both the static and dynamic scanner technologies. The aid of spherical targets, duly positioned, has speeded up the registration process, with a first automatic alignment and a second manual one during which some problems deriving from the use of dynamic technologies emerged. Specifically, the mobile scanners used are all equipped with proprietary software for field alignment [4], or inertial and GPS systems for linking the scans performed [5]. The registration, in the absence of these software, combined with the presence of the shadow cone that the Swift scans themselves create (due to the interference of the scanner head coupling system with its support), has made common target identification more complex among scans of different types (fig. 8).
The cloud was exported in .rcp format (Autodesk RecapPro) and used, according to widely consolidated practices, to draw within a vector graphics software (Autodesk AutoCAD). The data in this digital space is imported as an attachment, significantly reducing its weight and speeding up the entire process, also becoming a real-time consultation tool and allowing the drawing of plans and sections on the chosen plane (UCS) without losing the three-dimensional data. This technique is particularly effective for historic buildings marked by an evolution of the building for successive non-consequential campaigns, such as to involve misalignments, significant rotations of vertical and horizontal planes, and strong differences in floor-level between blocks. The generated point-cloud can be quickly updated with acquisitions made at a later time, such as for the survey of the roof subsequently made with aerial photographic shots from a drone. The cloud generated within the Agisoft Metashape software, georeferenced with respect to the laser scanner cloud and imported directly into the Recap project, allowed the survey to be closed. In a vectorial environment, a series of horizontal and vertical planes have been set up on the cloud aimed at the necessary renderings, and the architectural representation scale of 1:50 has been chosen, with the possibility of going into detail given the richness of the data detected (figs. 9, 10). The attached cloud can undergo a series of non-destructive operations on the source file in addition to simple consultation. For example, the creation of depth slices to facilitate the reading and interpretation of the point cloud, and the possibility of switching off and on individual scans directly in CAD, without deleting them. This last possibility is very useful due to the difference in the accuracy of the metric data and the quantity and position of the points detected with the different instruments. The GeoSLAM scanner in fact allowed

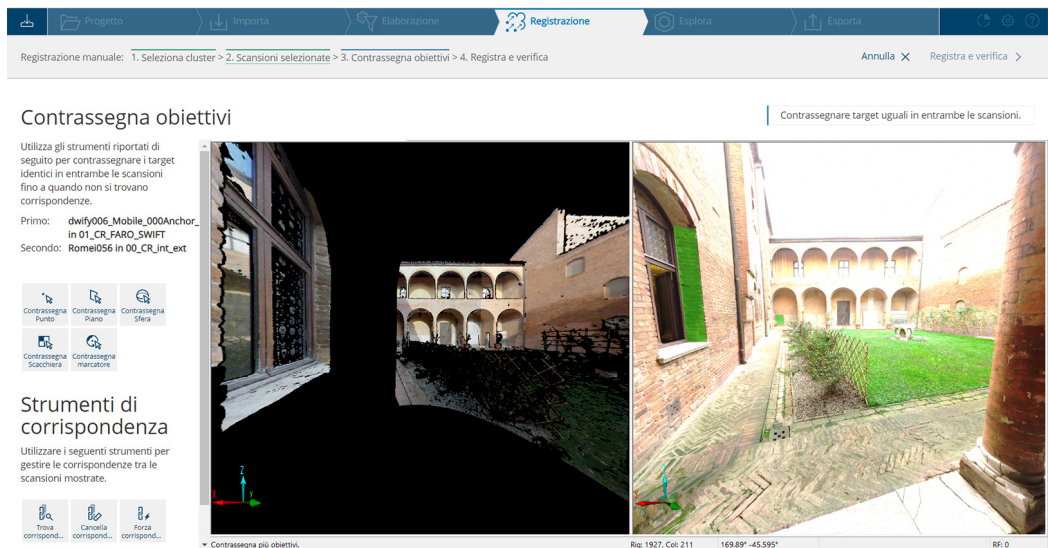



Fig. 8. Identification of common planar targets for manual alignment in Scene, complicated by the lack of data in the Swift grips due to the instrument's self-occlusion zones. Graphic elaboration by S. Costantini.

a rough geometric drawing of the rooms, with some difficulty in closing the corners. To get down to a more detailed representation scale, it was necessary to switch on the scans deriving from the Faro Focus static scanner. The scans generated by the Faro Swift system were interrogated together with the static ones to remedy the reciprocal shortcomings due to the shooting phases and the limits of the instrument already mentioned.

Once the cloud was updated with the roof acquisition, given the weight of this portion, it was necessary to turn off the rest of the scans for their representation. This phase could be optimized if, during the transition from Scene to Autocad, the structure of the various scanning groups imported by type of instrument was maintained (fig. 11).

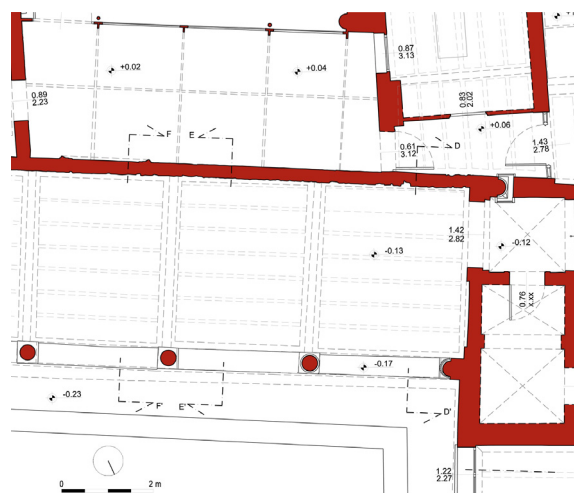



Fig. 9. Loggiato di Ippolito II. The drawing plan's detail on the ground floor, in scale 1:50. Graphic elaboration by S. Costantini.

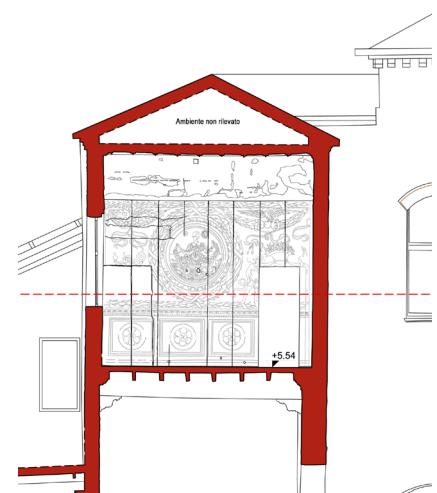



Fig. 10. Studiolo's vertical section, on the first floor: drawing in scale 1:20 for describing forms, wooden wall with Africa's allegory. Graphic elaboration by S. Costantini.

Conclusions

In the experimentation, five acquisition systems were compared with the aim of evaluating their potential and criticality in the case of 2D drawings of a historical architecture characterized by a high morphological and material complexity. In relation to the scale of representation chosen for the drawings presented above, it can be seen that static systems or systems based on TLS technology are still preferable, even if these require longer acquisition and recording times. However, the possibility of integrating data from various systems is extremely interesting, for the purpose of increasingly independent and flexible personalization of the survey project and the degree of detail in the execution phase of the drawings.

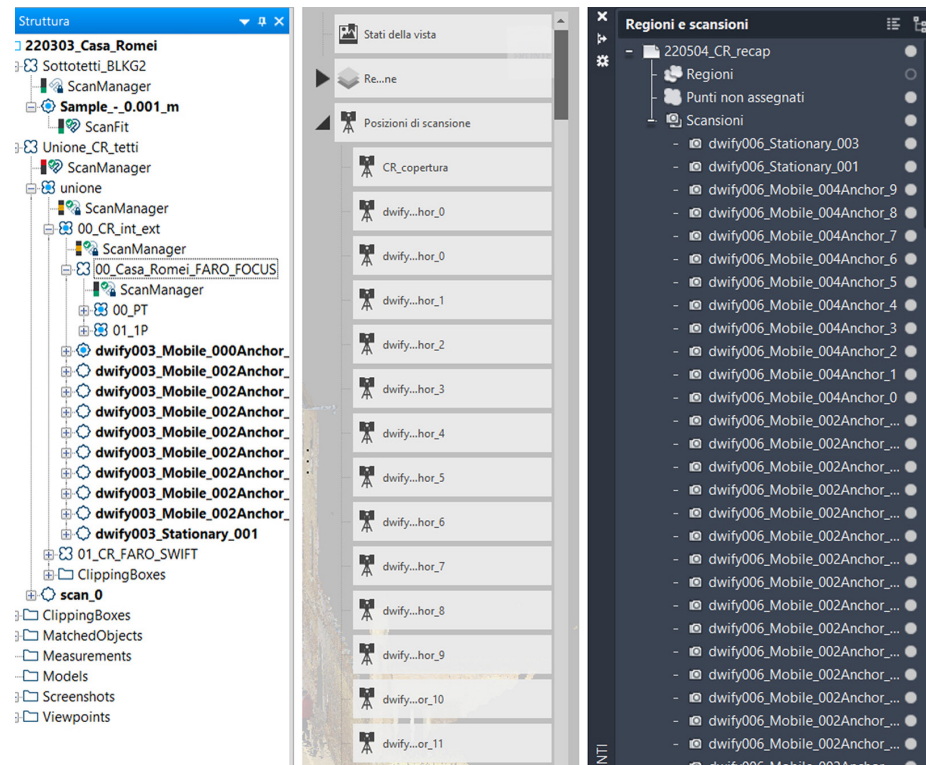



Fig. 11. Comparison between the structures of point cloud during the workflow phases. Note the transformation from Scene (on the left) to Recap (in the middle). This change remains in the vector space (on the right). Elaboration by S. Costantini.

Notes

[1] On Casa Romei see [Zaccarini 1992; Di Francesco 1988; Muscolino 1989; Sambin 2017].

[2] For the technical specifications of the various instruments, refer to the manufacturers' websites. Recent research conducted on this technology are in [Barba et al. 2021; Di Filippo et al. 2018; Parrinello et al. 2022; Sammartano et al. 2019; Dell'Amico 2021]. This contribution does not aim to provide a quantitative analysis of the noise in the different clouds, of any instrumental errors, as well as of the possible problems of laser reflection, present instead in other researches elaborated according to the practices and methodologies of geomatics.

[3] For Leica products, using the appropriate app it's possible to check the path taken by the instrument, align the scans, correct any errors in the construction of the cloud itself. Specifications on the titrations: a) technology integrated within the acquisition system; b) operability that is speed and ease of use under standard conditions of use; c) accuracy or the proximity of a set of measurements to the real value; d) post-processing that is the time and complexity of the operations/calculations necessary to dispose of the data; e) economic ratio, i.e. the ratio between the cost of the system and the characteristics of the acquired data. The tested systems are the following. TLS: Terrestrial Laser Scanner. SLAM: Simultaneous localization and Mapping; VIS: Visual Inertial System; Dynamic systems (LMS): Mobile Laser Scanner allows you to scan the dynamically and post-process the data in real time, virtually reconstructing the scene. Noise: distance between the acquired points and a reference surface.

[4] For Leica products, using the appropriate app it's possible to check the path taken by the instrument, align the scans, correct any errors in the construction of the cloud itself.

[5] For Faro Swift there's a specific Scene plug-in and a Scan Plan which, controlled by the device mobile, returns in real time a rough plan where the scans are located.

Acknowledgements

We thank the distribution companies for having contributed to the realization of this experimentation: for Microgeo Christian Ferrari, Sergio di Tondo and Cristina Bonfanti (SLAM system and Faro Swift Mobile); for Leica Andrea Cordisco and Valerio Brumelli (Leica BLK360 G2 and BLK2GO system).

Credits

The text was created in collaboration between the authors; in particular the paragraphs 'The case study' and 'Conclusions' are by Manuela Incerti, 'Introduction' and 'Some evaluations on the acquisition systems used' by Cristian Boscaro, 'First reflections on the recording and drawing phase' by Stefano Costantini.

References

Barba S., Ferreyra C., Cotella V. A., Di Filippo A. Amalfitano S. (2021). A SLAM Integrated Approach for Digital Heritage Documentation. In M. Rauterberg (Eds.). *Culture and Computing. Interactive Cultural Heritage and Arts,* 9th International Conference, C&C 2021, Held as Part of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24-29, 2021, Proceedings, Part I, pp. 27-39. Cham: Springer International Publishing.

Bonfanti C., Patrucco G., Perri S., Sammartano G. Spanò A. (2021). A new indoor lidar-based mms challenging complex architectural environments. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1–2021, pp. 79-86.

Colombo L. (2011). Tecnologia e tecnica nel laser scanning terrestre. In *Archeomatica.* No. 3, pp. 6-11.

Dell'Amico A. (2021). Mobile Laser Scanner Mapping System's for the Efficiency of the Survey and Representation Processes. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1-2021, pp. 199-205.

Di Filippo A., Sánchez-Aparicio L.J., Barba S., Martín-Jiménez J.A., Mora R., González Aguilera D. (2018). Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site. In *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 12, pp. 1-19.

Di Francesco C. (1988). Casa Romei. Medioevo e Rinascimento nel '400 ferrarese. In *Ferrara dal domestico al sacro: le dimore*, Ferrara, 7 April - 19 May 1988, pp. 1-9. Ferrara: Comune di Ferrara.

Keitaanniemi A., Virtanen J. P., Ronnholm P., Kukko A., Rantanen T., Vaaja M. T. (2021). The Combined Use of SLAM Laser Scanning and TLS for the 3D Indoor Mapping. In *Buildings*, Vol. 11, No. 9, 386, pp. 1-18.

Muscolino C. (1989). *Casa Romei. Una dimora rinascimentale a Ferrara*. Imola: University Press Bologna.

Parrinello S., La Placa S. (2022). La documentazione dei canali nella piana pavese. Esperienze di rilevamento con tecnologia SLAM per lo sviluppo di modelli informativi. In *Dienne Building Information Modeling, Data & Semantics*, Vol. 9, pp. 33-45.

Sambin de Norcen M. T. (2017). Romei, Giovanni. In R. Romanelli (Ed.). *Dizionario Biografico degli Italiani*, LXXXVIII. Istituto della Enciclopedia Italiana.

Sammartano G. Spanò N. (2018). Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensor survey and stand-alone acquisition. In *Applied Geomatics*, No. 10, pp. 317-339.

Sammartano G., Spanò N., Accornero A. (2019). SLAM-based mapping technology for extensive documentation of the San Nicola in Tolentino convent. In *Atti e rassegna tecnica della società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino*, Y. 152, Vol. LXXIII, No. 3, pp. 217-221.

Tucci G., Visentini D., Bonora V., Parisini E. (2018). Examination of Indoor Mobile Mapping Systems in a Diversified Internal/External Test Field. In *Applied Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 401-430.

Vernizzi C., Zerbi A. (2014). Rilievi 3D e valutazione dei dissesti strutturali: Casa Romei a Ferrara. In P. Giandebiaggi, C. Vernizzi (Eds.). *Italian Survey & International Experience, Atti del 36° Convegno internazionale dei Docenti della Rappresentazione,* pp. 513-521. Rome: Gangemi.

Zaccarini D. (1992). *Casa Romei e la vita privata ferrarese nel secolo XV.* Ferrara: Studio Editoriale Ferrarese.

Authors
Manuela Incerti, Università degli Studi di Ferrara, icm@unife.it
Cristian Boscaro, Università degli Studi di Ferrara, bsccst@unife.it
Stefano Costantini, Università degli Studi di Ferrara, cstsfn2@unife.it

To cite this chapter: Incerti Manuela, Boscaro Cristian, Costantini Stefano (2023). Laser scanner a confronto: problematiche e potenzialità nella restituzione grafica 2D di un bene storico/Comparison between Laser Scanners: Problems and Potential in the 2D Drawings of a Historical Building. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2817-2834.

 Isbn 9788835155119